

# Ocena kształtu i rozwinięcia powierzchni wierzchołków nierówności powierzchni po szlifowaniu

Evaluation of the develop of shape of the vertex surface of the roughness after the process of grinding

WOJCIECH KACALAK  
KATARZYNA TANDECKA  
FILIP SZAFRANIEC\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.10.144>

English version available on: [www.mechanik.media.pl](http://www.mechanik.media.pl)

Przedstawiono metodykę oceny kształtu i rozwinięcia powierzchni wierzchołków nierówności powierzchni po procesie szlifowania. Do wyznaczenia pól rozwinięcia powierzchni wierzchołków zastosowano 2 różne metody obliczeniowe – w obu przypadkach otrzymano zbliżone wyniki.

**SŁOWA KLUCZOWE:** SGP, chropowatość, szlifowanie

*In the publication an evaluation of the develop of shape of the vertex surface of the roughness after the process of grinding was presented. Two different computational methods were used to determine the development of the vertex of surface area for which similar results were obtained.*

**KEYWORDS:** stereometric structure of the surface, roughness, grinding

Struktura geometryczna powierzchni ma duży wpływ na procesy tarcia i zużycia skojarzonych powierzchni, współpracujących tocznie i ślizgowo, a także na: odkształcenia i sztywność stykową, koncentrację naprężeń i wytrzymałość zmęczeniową, odporność na oddziaływanie korozyjne, tłumienie drgań, szczelność połączeń, rezystancję stykową, stykowe przewodnictwo ciepła, właściwości magnetyczne, zjawiska odbicia, pochłaniania i przenikania fal (światlnych, elektromagnetycznych itp.), procesy nanoszenia, przyczepność i wytrzymałość powłok uszlachetniających, właściwości aero- i hydrodynamiczne, subiektywne wrażenia dotyczące wyglądu oraz preferencje nabywców określonych produktów.

Podstawą wyboru parametrów, które zostaną wykorzystane do oceny powierzchni, są: przeznaczenie elementu i warunki jego eksploatacji. Przydatna jest też wiedza o procesie stosowanym do kształtowania powierzchni [1, 3, 6, 8, 15, 17, 18] (rys. 1).

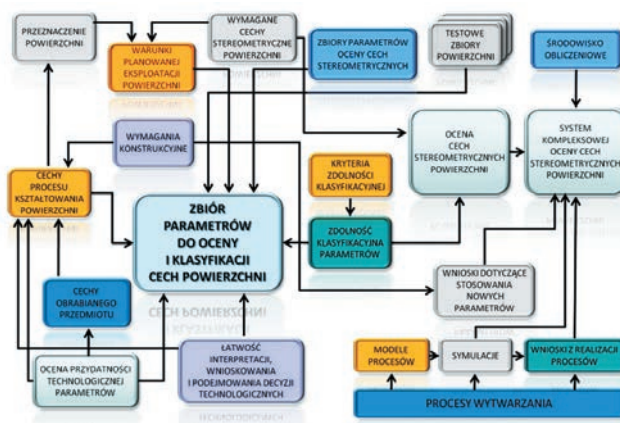
Kształtowanie powierzchni dokładnych elementów często odbywa się w procesach obróbki ściernej lub erozyjnej. Powierzchnie takie mają randomizowane cechy fraktalne, niekiedy z „obcą” składową główną [1, 3, 13].

Zawartość informacyjna wielu parametrów jest dość mała. Zyskują one na znaczeniu dopiero po zintegrowaniu informacji w nich zawartej z informacją uzyskaną na podstawie innych parametrów. Większość użytkowanych powierzchni jest przeznaczona do współpracy z innymi powierzchniami, a zatem rozmieszczenie, rozmiary i cechy statystyczne potencjalnych pól kontaktu mają duże znaczenie [1, 3, 5–7].

Nie jest uzasadnione wskazywanie jednego, uniwersalnego zbioru parametrów do oceny powierzchni o różnym przeznaczeniu i różnych funkcjach użytkowych. W zależ-

ności od warunków planowanej eksploatacji, a w pewnym stopniu również od cech procesu kształtowania powierzchni, należy stworzyć zbiór parametrów [1, 3, 9–12], które będą:

- miały maksymalną przydatność informacyjną,
- spełniały warunek komplementarności,
- zawierały informację o rozproszeniu i zmienności parametrów geometrycznych,
- łatwe w interpretacji (chodzi o czytelne relacje między wartościami parametrów a określonymi cechami powierzchni),
- umożliwiały wyznaczenie ewentualnych korekt procesu kształtowania powierzchni.

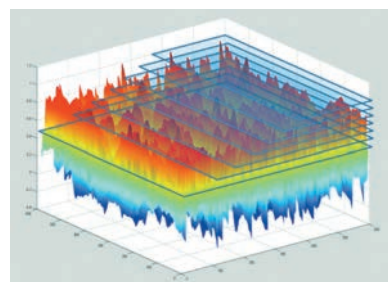


Rys. 1. Schemat metodyki wyboru zbioru parametrów do oceny topografii powierzchni

## Metodyka badań i analiza wyników

Do analizy cech stereometrycznych wierzchołków nierówności (rys. 2) na powierzchniach ukształtowanych w procesach szlifowania wykorzystano zbiór modeli powierzchni, różniących się wartościami amplitud składowych harmonicznych o wyższych częstotliwościach.

Opracowany został generator współrzędnych powierzchni, w którym zastosowano mechanizm kumulacji składowych o różnym wymiarze fraktalnym [2].



Rys. 2. Schemat do analizy cech wyniesień i obszarów możliwego kontaktu powierzchni współpracujących

\* Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak (wk5@tu.koszalin.pl), dr inż. Katarzyna Tandecka (katarzyna.tandecka@tu.koszalin.pl), mgr inż. Filip Szafraniec (filip.szafraniec@tu.koszalin.pl) – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny

Algorytm ten uwzględnia zróżnicowane prawdopodobieństwo usuwania materiału na wierzchołkach oraz niższych fragmentach nierówności. Autorzy publikacji w badaniach weryfikacyjnych uzyskali wysoki poziom zgodności wyników modelowania z rzeczywistymi powierzchniami ukształtowanymi w procesie szlifowania. Walidacja obejmowała ocenę zgodności 12 parametrów 3D [2].

Opracowane algorytmy umożliwiały generowanie powierzchni o różnej liczbie składowych harmonicznych, będących obwiednią przypisanego do nich probabilistycznego zbioru składowych losowych o różnych wartościach amplitudy i częstotliwości.

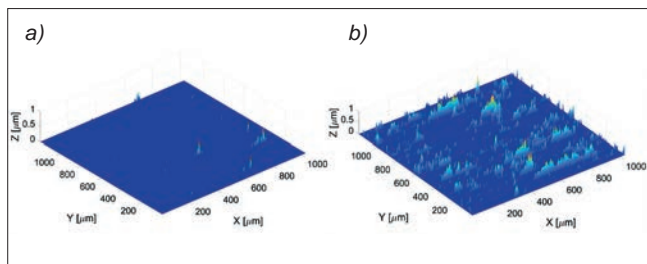
Z badań rzeczywistych powierzchni po szlifowaniu wynika, że w ocenie ich topografii można wyróżnić 4 główne grupy składowe o różnych wartościach amplitudy i częstotliwości głównej składowej w danej grupie. W analizach modyfikowano wartości tylko 2 głównych składowych o amplitudach A3 oraz A4. Każda z tych składowych obejmuje grupę stanowiącą liczny zbiór składowych losowych o paśmie częstotliwości wyższym od głównej składowej.

Przyjęto zakres wartości amplitudy A3 od 0,05 do 0,55  $\mu\text{m}$ , a amplitudy A4 – od 0,03 do 0,33  $\mu\text{m}$ . Dla każdej wygenerowanej powierzchni określano kształt i rozwinięcie wierzchołków powierzchni powyżej płaszczyzny odcięcia oddalonej o odcinek  $h$  od najwyższego wierzchołka (rys. 1).

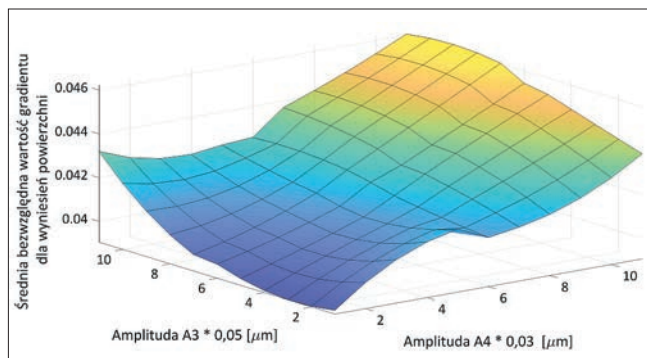
Średnie długości fal głównych składowych wynosiły:  $\lambda_3(x) = 10 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_3(y) = 4,8 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_4(x) = 3 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_4(y) = 2 \mu\text{m}$ .

Do określenia rozwinięcia powierzchni wierzchołków (rys. 3) zastosowano dwie różne metody obliczeniowe. Pierwsza polegała na numerycznym, bezpośrednim wykorzystaniu współrzędnych powierzchni do wyznaczenia wartości pola powierzchni, a w drugiej metodzie zastosowano mapy gradientów.

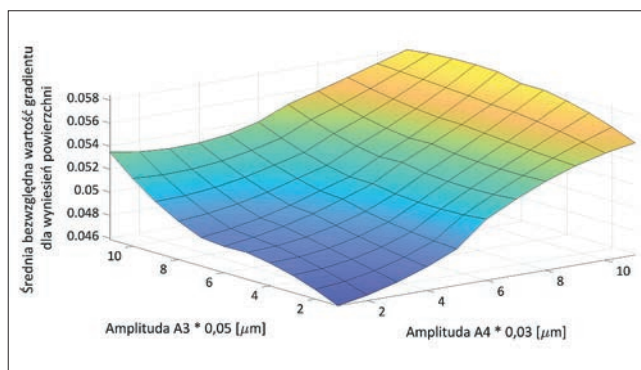
Na rys. 4–6 przedstawiono wpływ amplitudy A3 i A4 grupy składowych o częstotliwości  $f_4 > f_3$  ( $\lambda_3(x) = 10 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_3(y) = 4,8 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_4(x) = 3 \mu\text{m}$ ,  $\lambda_4(y) = 2 \mu\text{m}$ ) na średnie względne pole powierzchni dla



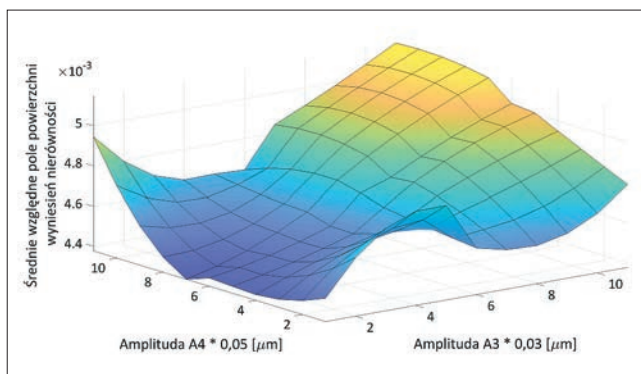
Rys. 3. Widok 3D wyniesień analizowanej powierzchni po szlifowaniu powyżej płaszczyzny odcięcia, oddalonej o odległość  $h$  od najwyższego wierzchołka: a)  $h = 1 \mu\text{m}$ , b)  $h = 1,5 \mu\text{m}$



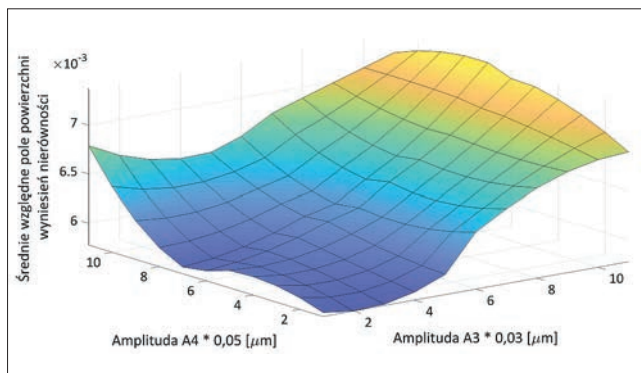
Rys. 4. Wpływ amplitudy A3 i A4 składowych o częstotliwości  $f_4 > f_3$  na średnią bezwzględną wartość gradientu dla wyniesień nierówności powierzchni ponad poziom  $1 \mu\text{m}$  od najniższego punktu



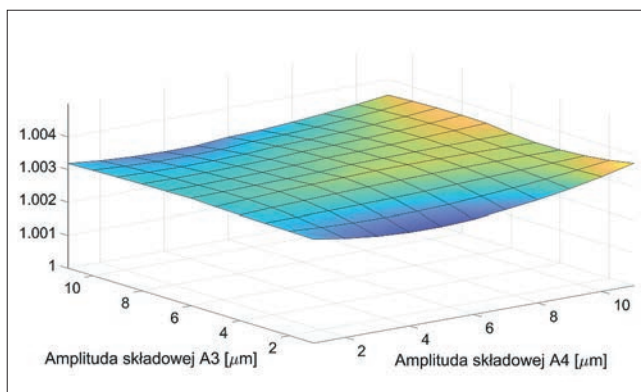
Rys. 5. Wpływ amplitudy A3 i A4 składowych o częstotliwości  $f_4 > f_3$  na średnią bezwzględną wartość gradientu dla wyniesień nierówności powierzchni ponad poziom  $1,5 \mu\text{m}$  od najniższego punktu



Rys. 6. Wpływ amplitudy A3 i A4 składowych o częstotliwości  $f_4 > f_3$  na średnie względne pole powierzchni dla wyniesień nierówności powierzchni ponad poziom  $1 \mu\text{m}$  od najniższego punktu



Rys. 7. Wpływ amplitudy A3 i A4 składowych o częstotliwości  $f_4 > f_3$  na średnie względne pole powierzchni dla wyniesień nierówności powierzchni ponad poziom  $1,5 \mu\text{m}$  od najniższego punktu



Rys. 8. Stosunek wartości pola powierzchni obliczonego z wykorzystaniem bezpośrednim współrzędnych powierzchni do pola powierzchni obliczonego z wykorzystaniem mapy gradientów



wyniesień nierówności powierzchni ponad poziom  $h$  od najniższego punktu ( $St = 2,225 \mu\text{m}$ ).

Na rys. 8 porównano wyniki pól rozwinięcia wyniesień, uzyskane różnymi metodami. Z wykresu wynika, że obie metody dają przybliżone wyniki, przy czym metoda bezpośredniego wyznaczania pola powierzchni jest ścisła w sensie matematycznym.

Oszacowanie pola powierzchni wyniesień na podstawie średniej bezwzględnej wartości gradientu w obszarach wyniesień jest ułatwione dzięki implementacji odpowiedniej funkcji w systemach obliczeniowych.

## Podsumowanie

Wyboru metod [17–20] i parametrów do pomiarów nierówności oraz oceny struktury geometrycznej powierzchni należy dokonać na podstawie: wymagań dotyczących

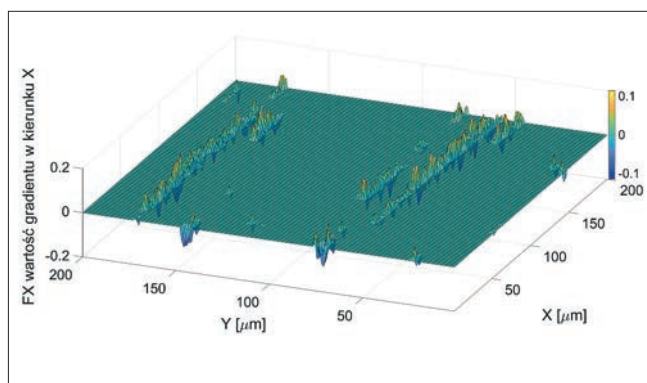
realizacji procesów wytwarzania oraz przeznaczenia elementu i warunków jego eksploatacji. Powierzchnie dokładnych elementów, kształtowane w procesach obróbki ścierniej lub erozyjnej, mają nieregularne wyniesienia i wierzchołki nierówności, wykazujące randomizowane cechy fraktalne.

Większość użytkowanych powierzchni jest przeznaczona do współpracy z innymi powierzchniami, więc rozmieszczenie, rozmiary i cechy statystyczne potencjalnych pól kontaktu mają duże znaczenie. Celem wytwórców często jest uzasadnione ograniczanie gradientu powierzchni w strefach wyniesień (rys. 9–11).

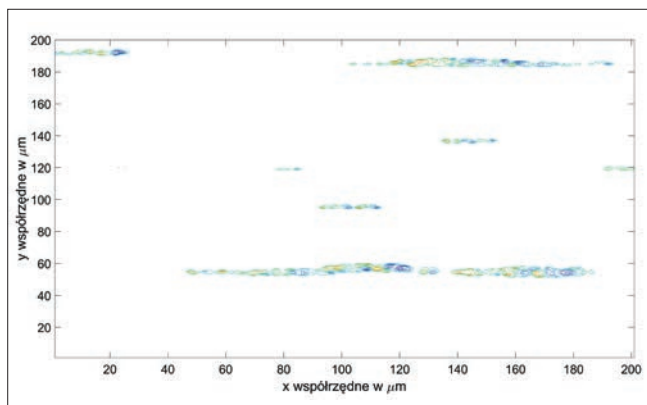
Wyniki przedstawionych prac wskazują na potrzebę analiz ukształtowania i rozwinięcia wierzchołków nierówności powierzchni jako podstawy do oceny właściwości eksploatacyjnych i trwałości elementów maszyn.

## LITERATURA

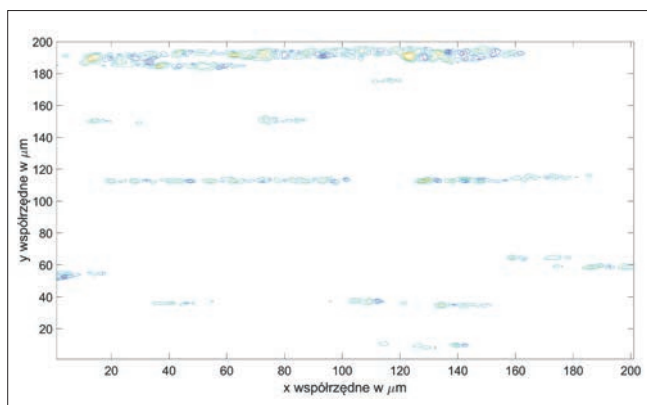
- Grzesik W. „Wpływ topografii powierzchni na właściwości eksploatacyjne części maszyn”. *Mechanik*. 88, 8–9 (2015): s. 587–593.
- Kacalak W., Szafraniec F. „Modelowanie topografii powierzchni po procesie szlifowania z zastosowaniem mechanizmów kumulacji składowych o różnym wymiarze fraktalnym”. *Mechanik*. 88, 8–9 (2015): s. 711/152–158.
- Kacalak W. i in. „System do analizy i oceny topografii powierzchni technicznych”. Projekt R03 040 03, 2010.
- Kacalak W., Tandecka K. „Metrologiczne aspekty oceny topografii diamentowych folii ściernych do precyzyjnego mikrowygładzania”. *Pomiary Automatyka Kontrola*. 5 (2011).
- Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R., Lipiński D., Łukianowicz Cz. „Metodyka oceny zdolności klasyfikacyjnej parametrów charakteryzujących cechy stereometryczne nierówności powierzchni”. *Pomiary Automatyka Kontrola*. 57 (2011): s. 542–546.
- Kacalak W., Tomkowski R., Lipiński D., Szafraniec F. „System oceny struktury geometrycznej powierzchni po obróbce ścierniej”. *Mechanik*. 8–9 (2014): s. 219–226.
- Kacalak W., Szafraniec F., Ściegienka R. „Topografia powierzchni elementów ceramicznych szlifowanych z zastosowaniem ściernic o hiperboloidalnej powierzchni czynnej”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1180–1182, DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.307.
- Kacalak W., Tandecka K., Mathia T.G. „A method and new parameters for assessing the active surface topography of diamond abrasive films”. *Journal of Machine Engineering*. 16, 4 (2016): s. 95–108.
- Kacalak W., Różański R., Lipiński D. „Evaluation of classification ability of the parameters characterizing stereometric properties of technical surfaces”. *Journal of Machine Engineering*. 16, 2 (2016): s. 86–94.
- Lipiński D., Kacalak W. „Metrological aspects of abrasive tool active surface topography evaluation”. *Metrology and Measurements Systems*. 23, 4 (2016): s. 567–578, DOI: 10.1515/mms-2016-0043.
- Lipiński D., Kacalak W. „Zastosowanie metod analizy obrazu do oceny powierzchni czynnej narzędzia ściernego”. *Mechanik*. 8–9 (2016): s. 1152–1153, DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.293.
- Lubimow W., Oczko K.E., Łabudzki R.K. „Klasyfikacja struktur geometrycznych powierzchni (SGP). Obróbka ścierna, podstawy i technika”. *Zbiór Prac XIII Naukowej Szkoły Obróbki Ścierniej*. 2000.
- Majumdar A., Bhushan B. „Fractal model elastic-plastic contact between rough surfaces”. *Journal of Tribology*. 113 (1991): s. 1–11.
- McCool J.I. „Comparison of models for the contact of rough surfaces”. *Wear*. 107 (1986): s. 37–60.
- Pawlus P. „Topografia powierzchni – pomiar, analiza, oddziaływanie”. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2005, s. 165–168.
- Kapłonek W. „Teoretyczne i doświadczalne podstawy zastosowania optycznych metod pomiarowych wykorzystujących analizę światła rozproszonego w ocenie stanu powierzchni przedmiotów i narzędzi ściernych w procesach obróbki ścierniej”. Monografia. Koszalin: Politechnika Koszalińska, 2017.
- Kapłonek W., Łukianowicz Cz. „Ocena mikronierówności powierzchni obrabianych na podstawie obrazu światła rozproszonego”. *Pomiary Automatyka Kontrola*. 56, 1: s. 28–29.
- Łukianowicz Cz. „Podstawy pomiarów nierówności powierzchni metodami rozpraszania światła”. Monografia 85. Koszalin: Politechnika Koszalińska, 2001.
- Reiner J. „Identyfikacja i modelowanie optyczne systemów wizyjnej kontroli jakości wytwarzania”. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2013.
- Wieczorowski M. „Kierunki rozwoju metrologii nierówności powierzchni”. *Mechanik*. 8–9 (2014): s. 467–479/600.



Rys. 9. Wartości gradientu  $FX$  w kierunku  $x$  dla  $A3 = 0,55 \mu\text{m}$  i  $A4 = 0,33 \mu\text{m}$



Rys. 10. Wartości gradientu  $FX$  w kierunku  $x$  dla  $A3 = 0,2 \mu\text{m}$  i  $A4 = 0,15 \mu\text{m}$



Rys. 11. Wartości gradientu  $FX$  w kierunku  $x$  dla  $A3 = 0,55 \mu\text{m}$  i  $A4 = 0,33 \mu\text{m}$